Estudio aerodinámico, fuerza de sustentación y resistencia en un avión

FERIA DE CIENCIAS
Colegio Alemán "Mariscal Braun"
La Paz 20 de Octubre de 1990

Ludger Suárez

Tema: Estudio Aerodinámico, fuerza de sustentación y resistencia en un avión.

Presentación del proyecto: El proyecto consiste en explicar la fuerza de sustentación sobre el ala y cómo vuela el avión. También cómo controlar un avión en el aire. (maniobras del avión por medio de dispositivos hipersustentadores).

Problema planteado: Nos planteamos preguntas entre nosotros, estos fueron-porque un avión vuela?-cuál es el motivo por el cual vuelan?-como pueden maniobrar los aviónes en el aire? Todo esto queríamos saber científicamente y comprovar por medio de experimentos. También con motivo de incorporarnos a la Física.

Para todo ello se investigó muchas cosas.

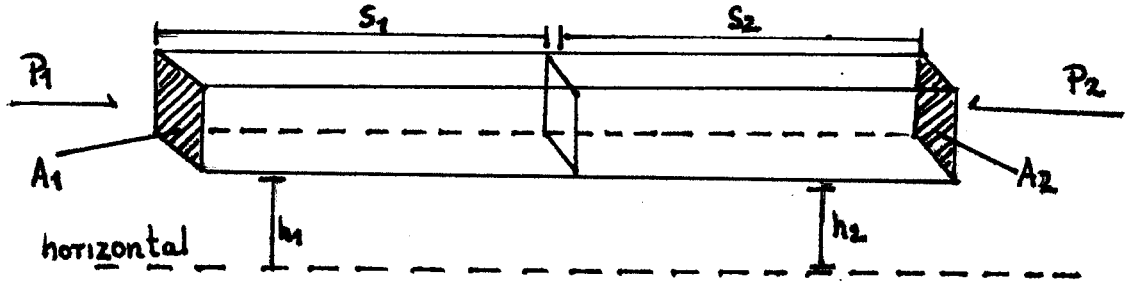
Objetivo: Obtener respuestas a las preguntas planteadas y relacionarse con algunas leyes útiles para el avión y luego ser utilizadas en el Aeromodelismo.

Procedimiento: La fuerza de sustentación y de resistencia.

Consultamos en libros que el origen para determinar la fuerza de sustentación venía del TEOREMA DE BERNOULLI.

En el Teorema de Bernoulli, donde se calculará el TRABAJO realizado por el fluido sobre las Areas A_1, A_2 cuando se hayan desplazado S_1, S_2 respectivamente.

Fig. 1



P_1 = Presión en la sección uno.
A_1 = Area de la sección uno
S_1 = Distancia de desplasamiento del aire.
h_1 = altura, con referencia a una horizontal

P_2 = Presión en la sección dos
A_2 = area en la sección dos
S_2 = Distancia de desplazamiento de la secc. dos.
h_2 = altura en la secc. dos.

Concepto de TRABAJO (W)= Se realiza un trabajo cuando una fuerza hace recorrer a un cuerpo de area (A) una distancia (S) en la dirección en que ella actúa.

W= fuerza(F) · distancia(D) donde $F = P \cdot A$

fuerza = PRESIÓN · AREA

Entonces se puede expresar un trabajo(como en la figura 1)

$$W=P\cdot A\cdot S$$

Ahora para determinar el trabajo neto en la Fig.1 se expresa:

$$\boxed{P_1\cdot A_1\cdot S_1 - P_2\cdot A_2\cdot S_2 = Wn}$$

Wn= Trabajo neto

Si la superficie $A_1 = A_2$ y la distancia $S_1 = S_2$ tenemos..

$Wn = P_1 AS - P_2 AS$

$Wn = AS(P_1 - P_2)$

Se sabe que A·S Area por longitud sería el volumen de un prisma.

entonces de $\rho = \frac{m}{V_{ol}}$ se tiene $A\cdot S = V_{ol} = \frac{m}{\rho}$

m= masa del prisma

ρ= densidad entonces,

$$\boxed{Wn=(P_1 - P_2)\frac{m}{\rho}}$$

También Wn-Trabajo neto =ΔE =Cambio de energía

$$\boxed{\text{Energía cinética} = \frac{m\,V^2}{2}} \qquad \boxed{\text{Energía potencial} = m\cdot g\cdot h}$$

entonces..

$$Wn = (P_1 - P_2)\frac{m}{\rho} = (\tfrac{1}{2}m\cdot V_2^2 - \tfrac{1}{2}m\cdot V_1^2) + (mgh_2 - mgh_1)$$

Factorizando y dividiendo por (m) se tiene

$$P_1 - P_2 = \rho\tfrac{1}{2}V_2^2 - \rho\tfrac{1}{2}V_1^2 + \rho g h_2 - \rho g h_1$$

si $h_1 = h_2$ tenemos

$$P_1 - P_2 = \rho\tfrac{1}{2}V_2^2 - \rho\tfrac{1}{2}V_1^2$$

$$\boxed{P_1 + \rho\tfrac{1}{2}V_1^2 = P_2 + \rho\tfrac{1}{2}V_2^2}$$

Este seía la expresión del Teorema de Bernoulli para ciertas condiciones.

Antecedentes para explicar la Fuerza de sustentación

Para poder explicar la fuerza de sustentación con más detalle ,se nesecitan saber estos enunciados.

1. Se llaman presiones positivas a las presiones superiores a la atmosférica.

2.Se llaman presiones negativas a las presiones inferiores a la atmosférica.
Con un ejemplo en la figura 2 se podrá explicar otros enunciados.
Según la ecuación de Bernouli en un tubo como indica la Fig.2

$$P_1 + \tfrac{1}{2}\rho V_1^2 = P_2 + \tfrac{1}{2}\rho V_2^2$$

donde $\tfrac{1}{2}\rho$ es una constante

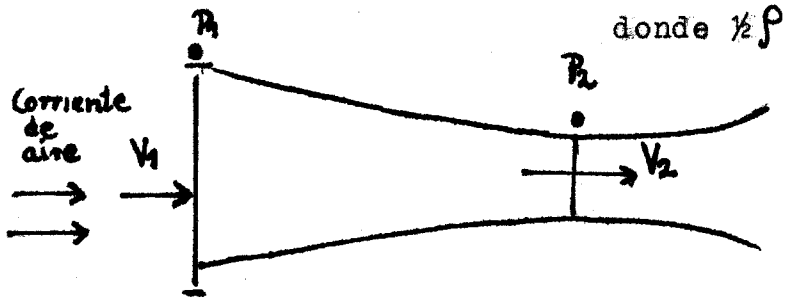


Fig.2

Es evidente que en V_2 la velocidad deve ser mayor en V_1, luego para que se conserve la igualdad, la presión (P_2) debe ser menor que la (P_1).
■ En concluciones- Cuando aumenta la velocidad, disminuye la presión y viceversa.

Entonces -en los puntos donde la velocidad es cero o inferior a la de la corriente libre, la presión es positiva.
En los puntos donde la velocidad es superior a la de la corriente libre, la presión es negativa .

Con estos conocimientos, en el ala de un avión(Fig. 3) se observa.
Al pasar por el ala, se reparte por el ala dos velocidades la V_1 que es la velocidad en el intrados (parte inferior del ala) y la V_2 que es la velocidad en el extrados (parte superior del ala).

Perfil alar

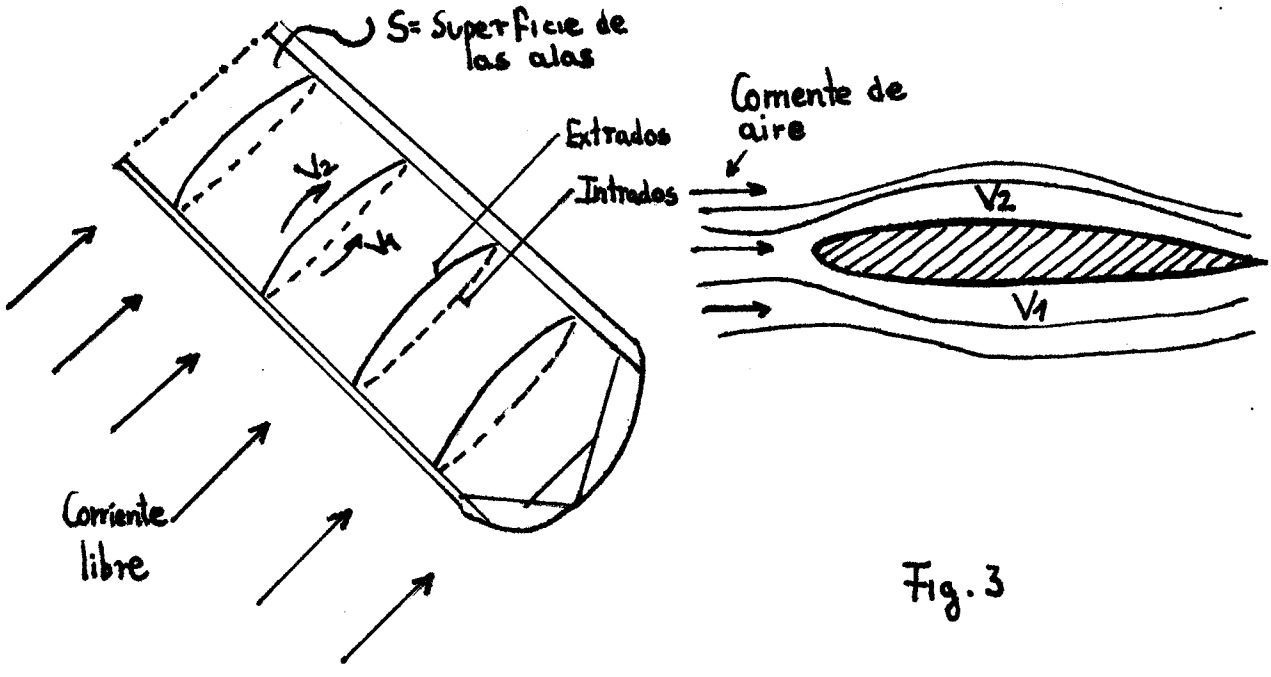


Fig.3

El aumento de velocidad en el extrados aumenta el valor de la presión negativa, mientras que la disminución de velocidad en el intrados aumenta la presión positiva.

Para que exista una succión hacia arriva en el ala (para que se pueda elevar el avión), se necesita una presión negativa, es decir se necesita una velocidad mucho mayor en el extrados que en el intrados.

Fuerza de sustentación y su ecuación

Según la ecuación de Bernouli

$$P_1 + \int \tfrac{1}{2} V_1^2 = P_2 + \int \tfrac{1}{2} V_2^2$$

En donde en el ala:

P_1 = Presión en el intrados
P_2 = Presión en el extrados
V_1 = Velocidad en el intrados
V_2 = Velocidad en el extrados

S= La superficie de las alas.

Despejando P_1 y P_2

$$P_1 - P_2 = -\tfrac{1}{2}\rho V_1^2 + \tfrac{1}{2}\rho V_2^2 \qquad P = \frac{F}{S}$$

$$\frac{F_1 - F_2}{S} = \tfrac{1}{2}\rho (V_2^2 - V_1^2)$$

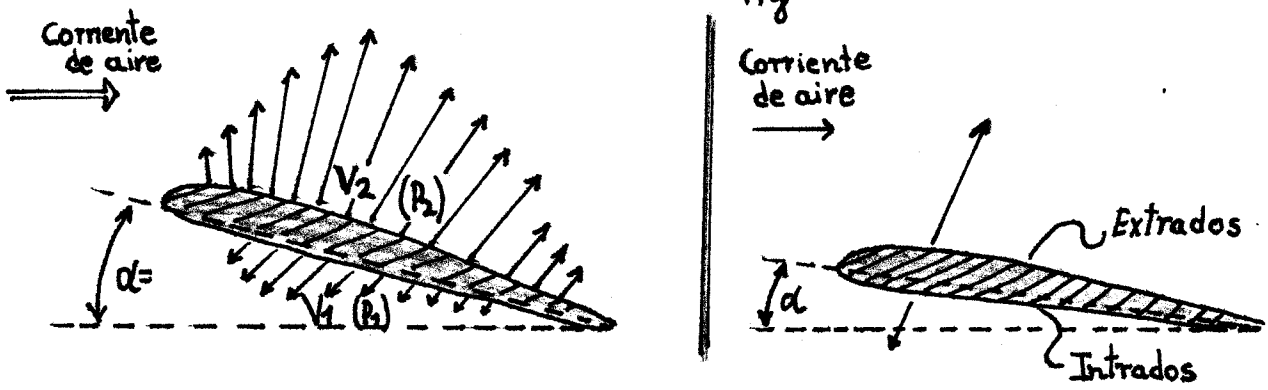
$$F_1 - F_2 = \tfrac{1}{2}\rho S (V_2^2 - V_1^2) \qquad F_1 - F_2 = Fs$$

Fs=Fuerza de sustentación

$$\boxed{Fs = \tfrac{1}{2}\rho \cdot S (V_2^2 - V_1^2)}$$

El reparto de fuerzas sobre el ala sería como indica la Fig.4 y su resultante.

Fig. 4

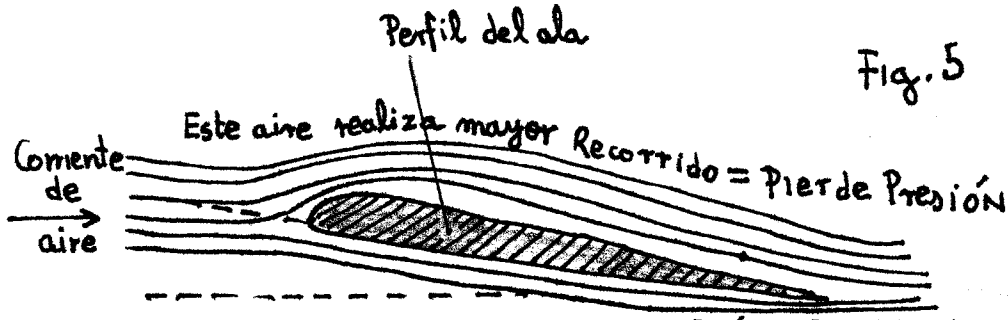


La velocidad en el extrados es superior,por tanto existirá una presión negativa. Tambien se saca como conclusión que en el extrados existe una fuerza,esta será la que originará una potente aspiración que es la causante para que el aviónse eleve.

Factores que ayudan a la fuerza de sustentación

Uno de los factores es el anterior mencionado.La velocidad que es mayor en el extrados que en el intrados.
Esto se deve a la curvatura convexa del extrados (forma del perfil alar),porque el aire que se desliza por la parte superior del ala ha de efectuar mayor recorrido que el que se desliza por la parte inferior. Como ambos han de llegar a la cola (borde de fuga) al mismo tiempo,ello implica que el aire haya de ir más velozmente que en el intrados. Fig.5

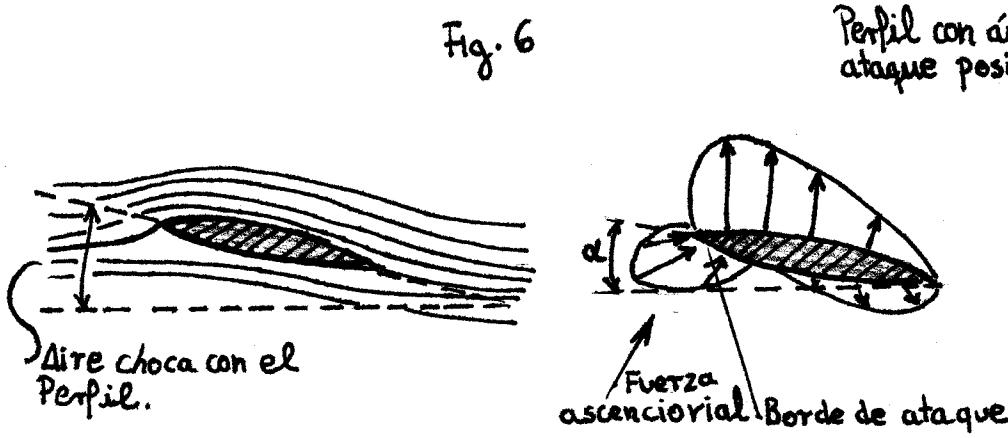
Fig. 5



Otro factor que es importante es el ángulo de ataque del ala
Angulo de ataque- Es el ángulo formado por la cuerda del ala y la dirección del avión con respecto a la corriente libre de aire.
Cuerda: Es la línea recta que une el borde de ataque con el borde de fuga.

Este ángulo es importante para los valores de la fuerza de sustentación y del coeficiente de sustentación.
Porque para cada ángulo de ataque existe un valor diferente de fuerza de sustentación.
Este ángulo de ataque alterna el valor,porque la acción del aire reparte las fuerzas como indica la Fig.6

Fig. 6

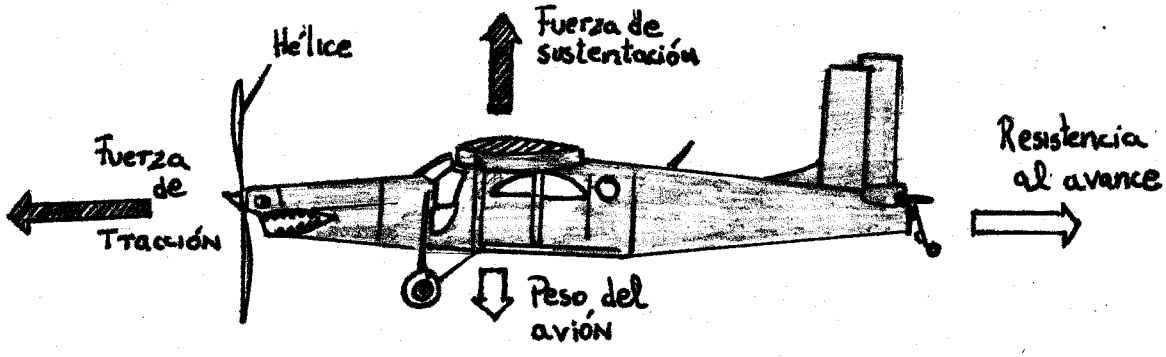


Las fuerzas que se hallan cerca del borde de ataque en el intrados ayuda a obtener una fuerza ascensional, osea ayuda a la fuerza de sustentación.
Entonces mientras mayor sea el ángulo de ataque mayor será la fuerza de sustentación.
Pero a un determinado ángulo de ataque ya no existe fuerza de sustentación en ningún lado. En ese momento el avión entra en pérdida. Esto es propio de cada avión según su configuración.

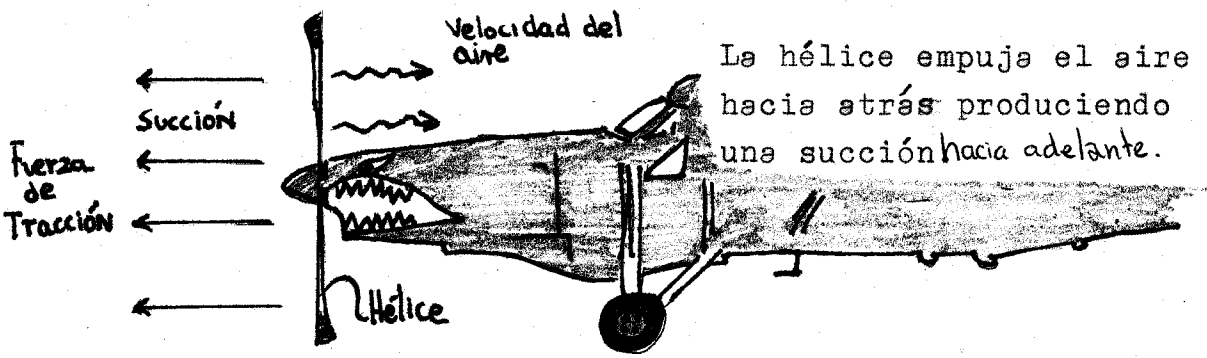
& Todo esto se estudiará más adelante.

Fuerzas que actuan sobre un avión

Fig.7



La fuerza de sustentación es la fuerza que obra para que el avión se eleve.
La fuerza de tracción es la fuerza que sirve para el movimiento (avance del avión). Estas dos fuerzas producen el movimiento.
Pero hay otras dos fuerzas que trabajan en su contra, son la fuerza de gravedad (peso del avión) y la de resistencia al avance.
La hélice de un avión sirve de ayuda para la fuerza de tracción ésta al moverse actúa como la hélice del helicoptero, produce una succión en sentido al avance. Fig.8



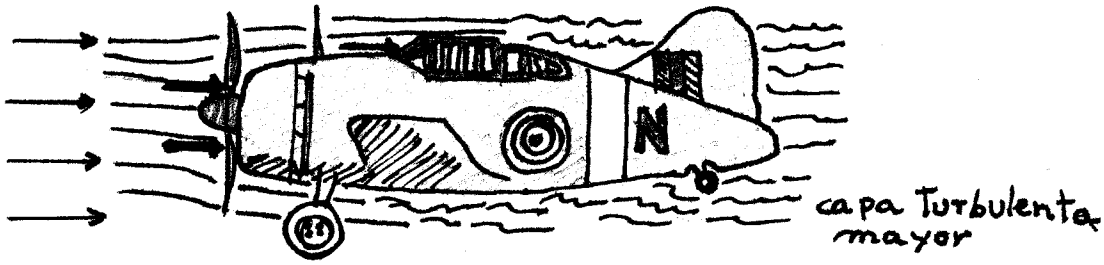
La hélice empuja el aire hacia atrás produciendo una succión hacia adelante.

La resistencia al avance

La resistencia al avance se deve a la fricción del aire contra el exterior del avión y a la resistencia que al avión le ofrece.
Para conseguir la menor resistencia al aire y alcanzar grandes velocidades deve tener una buena forma aerodinámica.

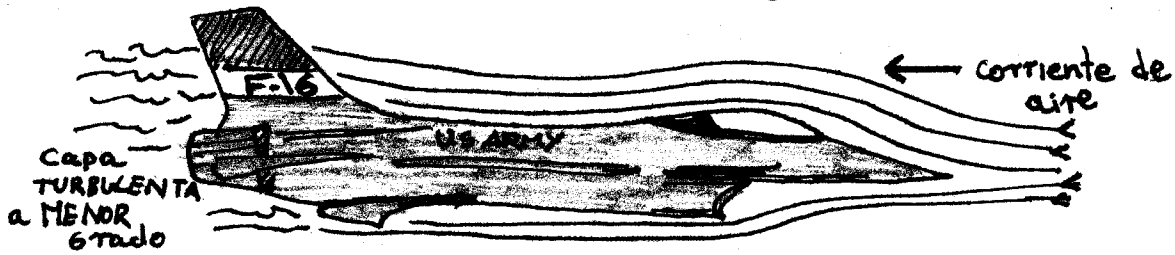
Comparaciones de las formas aerodinámicas en un avión.

Para esto se tomarán dos ejemplos. Por ejemplo el avión de la Fig.9



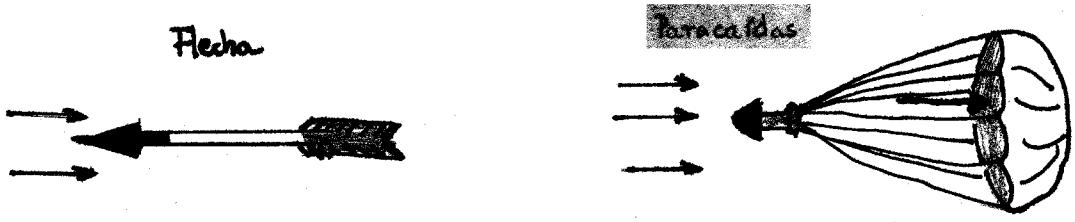
Este avión tiene como altura de fuselaje muy grande, frontalmente tiene forma de óvalo. Entonces existe más superficie de choque.El viento roza con más fuerza sobre el avión y entonces hay mucha resistencia al avance.
Como conclución se saca que este avión no es muy aerodinámico.

Pero si se tiene un avión como el la Fig.10



Su forma es como un huzo o como una "hoja de papel".No hay mucho roce en la superficie del avión. Esto quiere decir que es un avión aerodinámico.

O simplemente ,para explicar este fenómeno comparamos con la trayectora de una flecha y un paracaídas. Fig 11



Entonces como conclusión .La resistencia al avance es vencida por la forma aerodinámica.

Túneles aerodinámicos

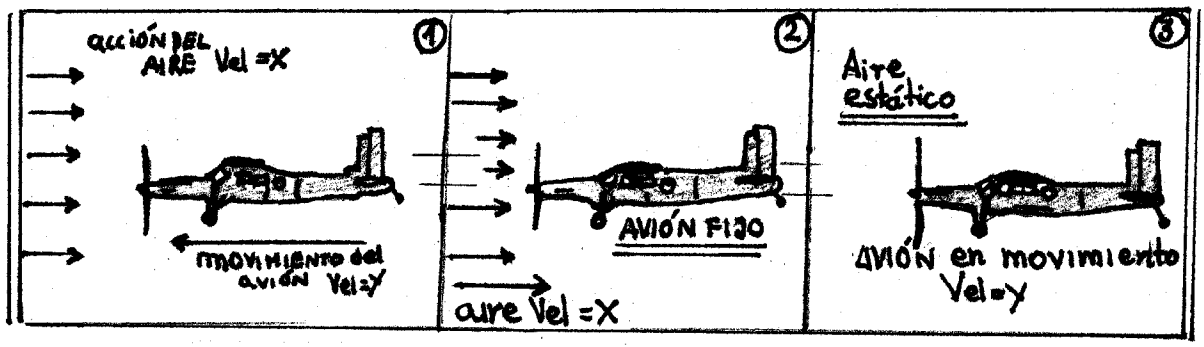
La configuración de un ala y de todo un avión en si, depende de la fuerza de sustentación y de resistencia al avance.
Es por eso que en los túneles aerodinámicos se miden las fuerzas de sustentación y de resistencia para cada ángulo de ataque.

Con todos los conocimientos anteriores sobre estas dos fuerzas se procede al experimento

que se realizará para determinar estas dos fuerzas matemáticamente del avión "Demeter" en el tunel aerodinámico.

Tunel aerodinámico: un tunel aerodinámico es una instalación para practicar los ensayos de un futuro avión. Este dispositivo capás de originar una corriente de aire a una velocidad (V),densidad (ρ) y de medir fuerzas en la dirección de la corriente de aire (resistencia al avance) y en dirección perpenticular (sustentación) ,tiene un principio.

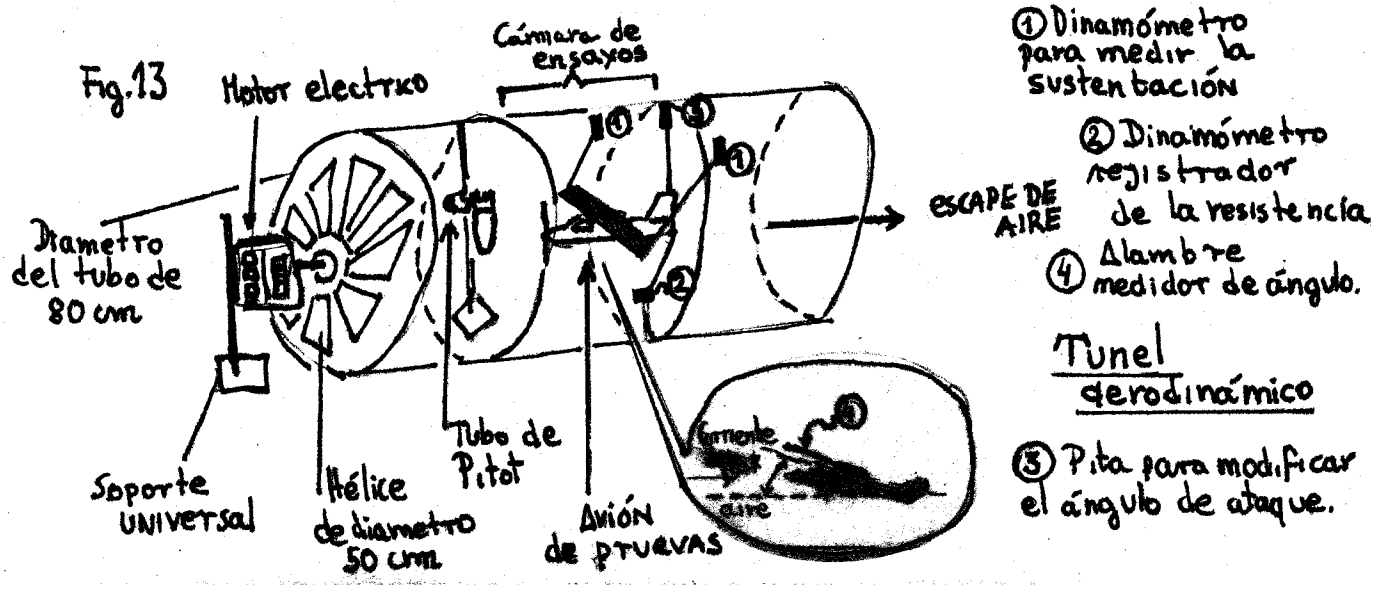
Principio de los túneles aerodinámicos: este principio se refiere a la similitud de que:
1. La acción del aire sobre un cuerpo cualquiera en movimient ,es igual si el cuerpo se mantiene fijo y se halla sometido a un viento de velocidad determinada y eso es igual si el cuerpo se mueve con la misma velocidad en el seno del aire estático (estacionario). Fig 12



Experimento No 1

En este experimento se explicará la fuerza de sustentación.
a) El tunel aerodinámico que se usará consta de un armazón de fierro ,forrado con nylon.En éste se medirán la densidad, la velocidad del viento y por medio de dinamómetros se medirá la fuerza de sustentación y de resistencia. También se medirá el ángulo de ataque del avión.En la Fig.13 se puede apreciar el esquema del experimento.

Fig.13



b) Fórmula empleada en el experimento

Mediante la fórmula del coeficiente de sustentación que dice:

$$Cs = \frac{Fs}{\frac{1}{2}\rho V^2 S}$$

Donde

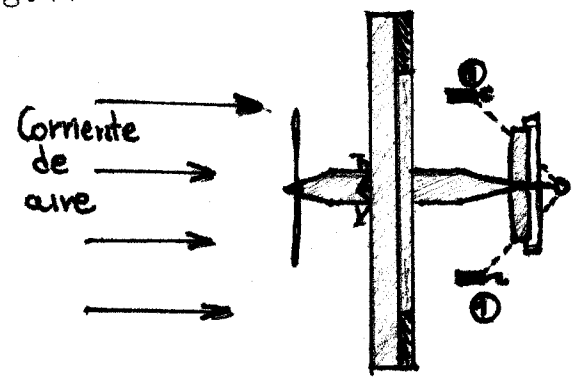
Fs =Fuerza de sustentación
ρ =Densidad del aire
V =Velocidad del aire
S =Superficie alar
Cs =Coeficiente de sustentación

Lo que se medirá en el tunel será la fuerza de sustentación, y haciendo operaciones con las constantes que son la densidad, la velocidad y la superficie de las alas,se sacará el coeficiente de sustentación con respecto a un ángulo de ataque Lo mismo se hará con la resistencia al avance,ya que se utilizará la misma fórmula,donde

$$Cr = \frac{R}{\frac{1}{2}\rho V^2 S}$$

R= Resistencia al avance
ρ= Densidad del aire
V= Velocidad del aire
S= Superficie de las alas
Cr= Coeficiente de resistencia

Todo también con respecto a un ángulo de ataque.La resistencia al avance (R) se lo medirá con dinamómetros como indica la Fig.14



1r Dinamómetros que registran la Resistencia al avance.

Entonces la Resistencia al avance será -lo que indican los dinamómetros (d) menos la fuerza de tracción (t).

R= d-t

Pero en nuestro avión no hay un motor que ejerse una fuerza de tracción sobre el avión, por tanto la resistencia al avance será solo lo que marcará el dinamómetro.

Ahora bien,se ejerse una velocidad (V) sobre el avión, que tiene un ángulo de ataque (α).
Los dinamómetros marcan una desigualdad respecto al peso (en nuestro experimento aumenta la escala en 0,03 N.Esta desigualdad con respecto al peso es la fuerza de sustentación para una velocidad (V_n),una densidad (ρ_n) y para un ángulo de ataque (α_n).
Ahora hacemos la misma operación con diferente ángulo de ataque y vemos que aún existe fuerza de sustentación pero ya no de 0,03 N, sinó de un valor mucho mayor.
Si ahora se pone el avión a un ángulo de ataque mucho mayor observamos que en el avión no existe ya sustentación (ya no hay esa diferencia de escala).

Concluciones, El avión presenta una ferza de sustentación. Cada valor de sustentación esta relaciónado con el ángulo de ataque,y mientras mayor sea el ángulo de ataque mayor será el valor de la fuerza de sustentación.
Pero a un determinado ángulo de ataque (α_x),ya no hay fuerza de sustentación. Esto se deve a que el aire ya no circula en la parte superior del ala,por tanto ya no existen presiones sobre el extrados y por tanto no hay sustentación. Cuando ocurre esto se dice que el avión entró en pérdida.

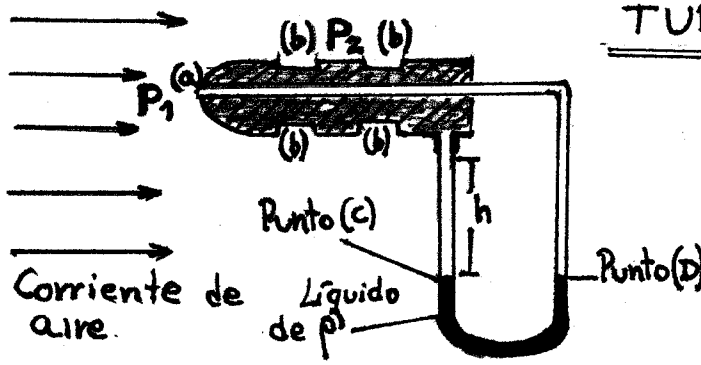
++ Para la fuerza de resistencia al avance ,se miden los valores hallados para cada ángulo de ataque con respecto a una velocidad (V_n).

Métodos empleados en la medición de la velocidad,densidad del aire y de la superfisie de las alas para la fórmula :

$$Cs = \frac{Fs}{\rho \frac{1}{2} \cdot V^2 S}$$

Emos visto en la Fig 13,que al principio del tunel aerodinámico está instalado un Tubo Pitot.
Un Tubo Pitot es un instrumento que permite medir la velocidad de un fluido (en este caso el aire) con respecto a un cuerpo inmovil situado en el seno de dicho fluido.
El pitot consta de dos tubos,uno de ellos cuya boca paralela a la de la corriente,rejistra la presión dinámica ó total (punto a) y el otro tubo ,cuya boca se halla perpenticular a la corriente,registra la presión estática. (Punto b)
Veamos la Fig. 15

Fig. 15



TUBO PITOT

Donde:

P_1 = Presión total (Vel 0)

P_2 = Presión estática

Sobre el punto (D) actúa la presión (P_1) y sobre el punto (C) actua la presión estática (P_2).
Como ambos puntos estan en la misma altura y estan conectados por el tubo en "U" al ejercer un viento la presión (P_1) será mayor a la presión (P_2).Entonces apartir del punto (C) se elevará el líquido manométrico, una altura (h).
Para igualar las presiones en el punto (C) y en (D) se tiene:

$$P_2 + Ph = P_1$$

Donde la presión (P_2) más la Presión Hidrostática (Ph) es igual a la presión (P_1).

se sabe que $Ph = \rho' gh$ entonces se tiene

$$\boxed{P_2 + \rho' gh = P_1} \quad (1)$$

Ahora bien según el teorema de Bernouli se tendría en el Tubo Pitot la siguiente fórmula

$$\boxed{P_1 + 0 = P_2 + \tfrac{1}{2}\rho V^2} \quad (2)$$

Si efectuamos sistema de ecuaciones entre las ecuaciones (1) y (2) se tiene:

$$\begin{cases} P_1 = P_2 + \tfrac{1}{2}\rho V^2 \\ P_1 = P_2 + \rho' gh \end{cases}$$

$$\cancel{P_2} + \tfrac{1}{2}\rho V^2 = \cancel{P_2} + \rho' gh$$

y despejando V se tendrá

$$\frac{\rho V^2}{2} = \rho' gh$$

$$\rho V^2 = 2\rho' gh$$

$$\boxed{V = \sqrt{\frac{2\rho' gh}{\rho}}}$$

Con esta fórmula obtenida se podrá hacer operaciónes y así sacar la velocidad del viento.

Ya se tiene la medida de la velocidad del viento.
Ahora se nesecita para nuestra ecuación, saber el valor de densidad del aire en La Paz. Se sabe que la densidad de un gas varía con la temperatura. Para esto se tomará la temperatura en el momento del experimento.

Para determinar la densidad del aire se tomará en cuenta la ecuación de los gases perfectos , que nos dice:

$$\frac{P}{\rho \cdot T} = R'$$

P = Presión atmosférica
ρ = Densidad del aire
T = Temperatura en grados Kelvin

$R' = \frac{R}{M}$ donde R = Constante universal de los gases perfectos
M = Peso molecular del aire (molécula gramo)

El valor para R es de $8,3142 \frac{N \cdot m}{mol \cdot °K}$ ó $8,3142 \frac{julios}{mol \cdot °K}$

y para M es de $28,9644 \frac{g}{mol}$ ó $0,0289644 \frac{Kg}{mol}$

+Los valores de la presión atmosférica en La Paz 499mm Hg
ó de $66527,678 \frac{N}{m^2}$

Para la temperatura, enel momento que se haga el experimento se verá el la tabla de densidades que se incluye más adelante. Pero en esta ocación se hará con una temperatura de 10°C (que es la temperatura promedio en La Paz).

Temp.= 10°C + 273,15 = °K
°K= 283,15

Ahora ya se tiene todos los valores nesesarios para la ecuación.

$$\frac{P}{\rho \cdot T} = R'$$

$R' = \frac{R}{M} = 2,87053\ 10^{-2} \frac{m^2}{°K \cdot S^2}$

$$\frac{P}{R' \cdot T} = \frac{66527,678}{2,87053\ 10^{-2} \cdot 283,15} = \rho \frac{Kg}{m^3}$$

$\rho = 0,8185 \frac{Kg}{m^3}$ ó $\rho = 0,0008185 \frac{g}{cm^3}$

Esta será la densidad en La Paz para una temperatura de 10°C.

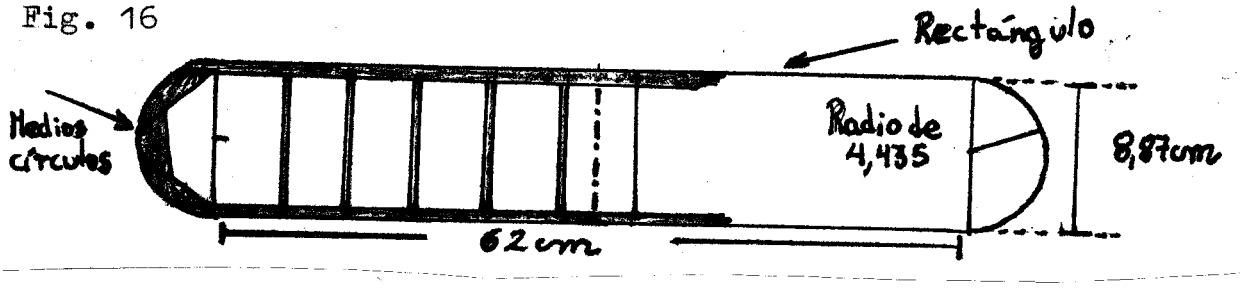
TABLA DE DENSIDADES DEL AIRE EN LA PAZ
(para diferentes temperaturas)

Temperatura ambiente en °C	Temperatura ambiente en °K	Densidad del aire en Kg/m³
-10	263,15	0,88071
-9	264,15	0,8773
-8	265,25	0,8740
-7	266,15	0,8707
-6	267,15	0,8675
-5	268,15	0,8642
-4	269,15	0,8610
-3	270,15	0,8578
-2	271,15	0,8547
-1	272,15	0,8515
0	273,15	0,8484
1	274,15	0,8453
2	275,15	0,8423
3	276,15	0,8392
4	277,15	0,8362
5	278,15	0,8332
6	279,15	0,8302
7	280,15	0,8272
8	281,15	0,8243
9	282,15	0,8214
10	283,15	0,8185
11	284,15	0,8156
12	285,15	0,8127
13	286,15	0,8099
14	287,15	0,8071
15	288,15	0,8043
16	289,15	0,8015
17	290,15	0,7987
18	291,15	0,7960
19	292,15	0,7932
20	293,15	0,7905
21	294,15	0,7878

Teniendo estos dos valores en la ecuación, solo nos faltaría medir la superficie de las alas del avión "Demeter".
Se sacará solo por medios geométricos ya que su estructura es muy fácil.

En la Fig. 16 se observa el ala completa del avión "Demeter", en el cual al descomponer en formas geométricas se otiene un rectángulo y dos medios círculos, osea un círculo.
Por medio de fórmulas geométricas para el rectángulo que es $\frac{b\,h}{2}$ y para el círculo que es r se sacará la superficie de las alas.

Fig. 16



El largo del rectángulo es de 62 cm y su ancho es de 8.87cm entonces por médio de la fórmula se tiene como resultado 274,97 cm^2.
Con el círculo ,su radio es de 4,435cm y su cuadrado es de 19,66 cm^2, eso por π se tiene como resultado 61,7637 cm^2.

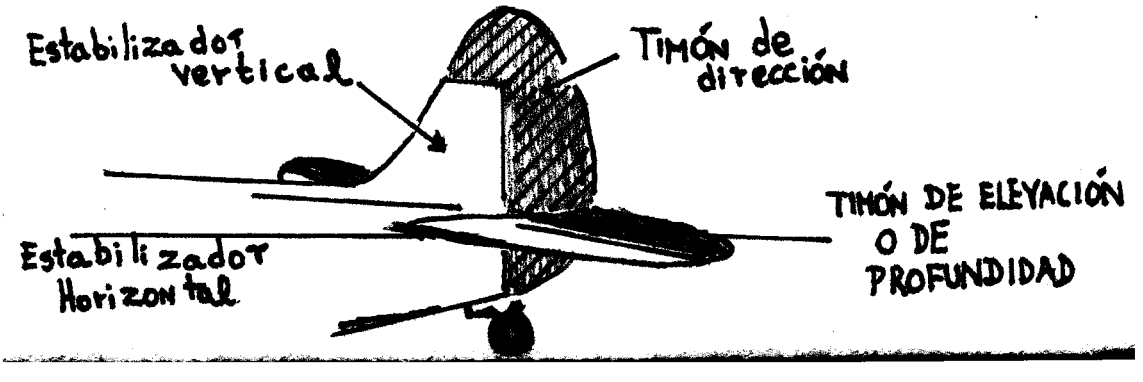
La superficie del rectángulo más la del círculo será la superficie total. (superficie de las alas)

$Sa = 336,76\ cm^2$

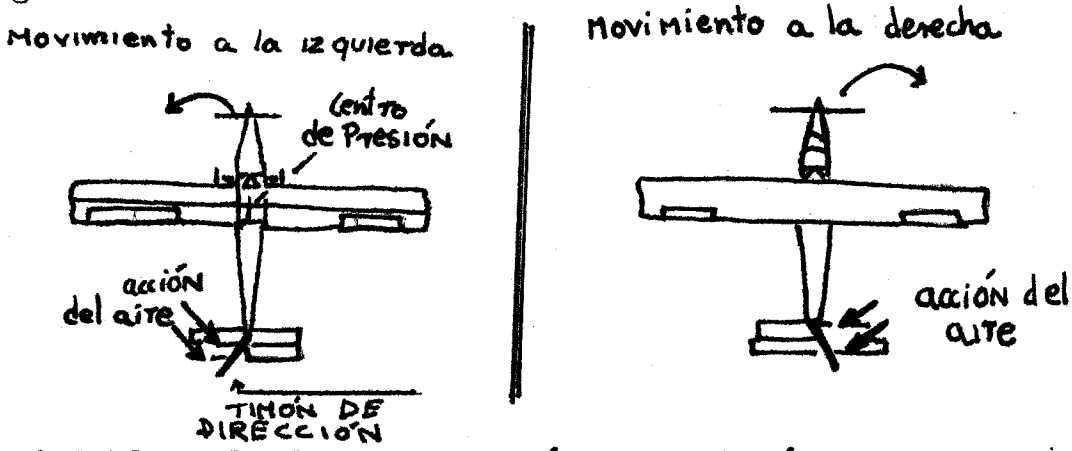
Esa será la superficie de las alas de nuestro avión.

Procedimiento (Experimento 2) : Maniobrilidad de un avión en vuelo.
Un avión es siempre necesitado de maniobrilidad, por lo tanto existen dispositivos que hacen esa tarea.
Un avión es necesitado como base ,poder maniobrar longitudinalmente, verticalmente y poder hacer virajes.

Para la dirección lateral tienen los aviónes los timones de dirección,estos se encuentran el la cola incrustados en el estabilizador vertical. Fig. 17

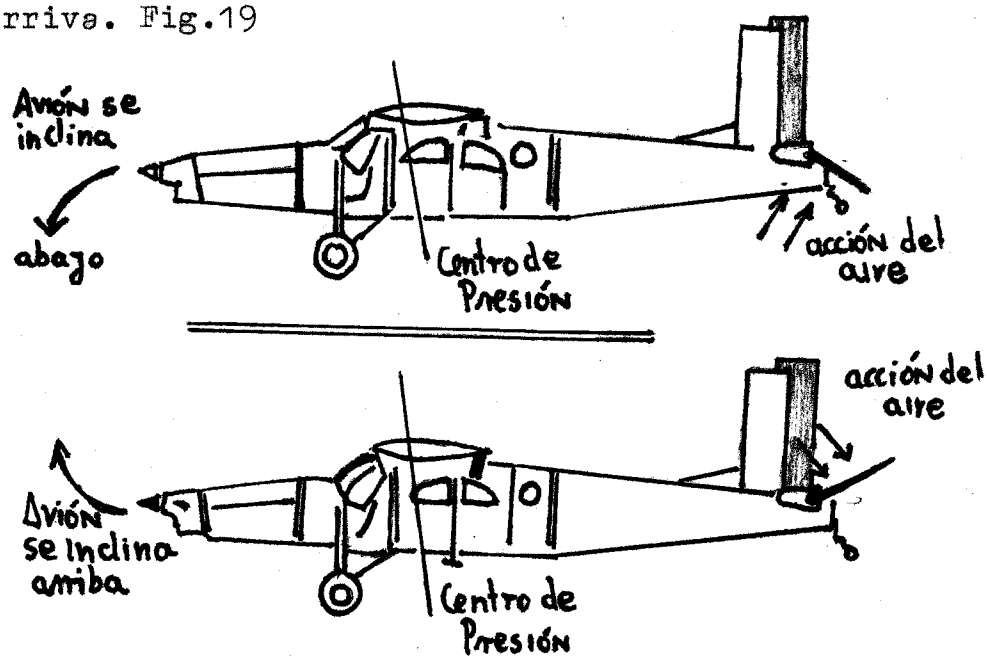


Entonces si el piloto dobla el timón de dirección,por medio de mecanismos,a la izquierda,el avión se doblará a la izquierda Fig.18



Y si dobla a la derecha el vión se doblará a la derecha.Fig 18
Entonces por medio de este timón se tiene maniobrilidad lateral.

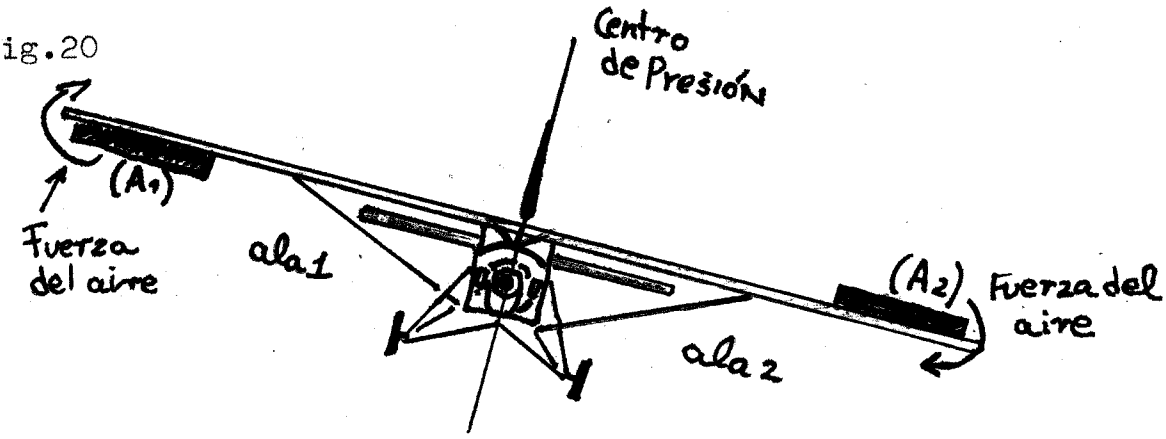
Para la dirección vertical,se utiliza el timón de profundidad o de elevación. Este se llama así porque ayuda al despegue y aterrizaje o simplemente para subir o bajar de altura del avión. Entonces el piloto mueve el timón hacia abajo y el avión se inclina hacia abajo. Y si mueve el timón hacia arriva,logicamente se movera el avión hacia arriva. Fig.19



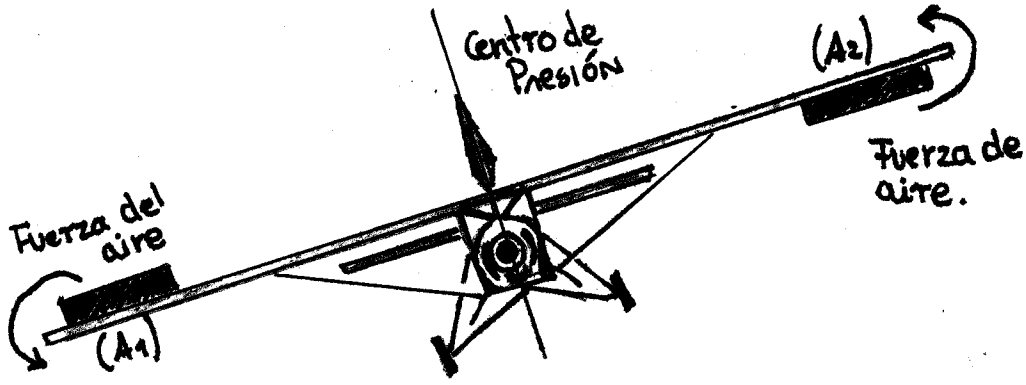
Ahora cuando el piloto quiere hacer virajes, nesecita de otos dispositivos. Estos se encuentran en el ala y se llaman alerones.

Si el piloto mueve los alerones uno hacia arriva y otro hacia abajo (como indica la Fig.20) el avión hace el viraje hacia la derecha.

Fig.20



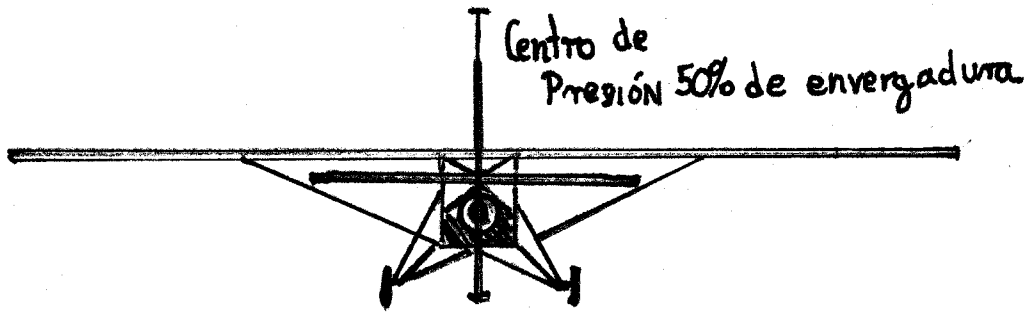
Para su mayor comprención se explicará con la Fig 20,donde llamaremos a (A_1) al alerón que apunta hacia abajo y a (A_2) al alerón que apunta hacia arriba.
Entonces el aire golpea contra la superficie del alerón (A_1),éste por su pequeña inclinación hace que la fuerza del tenga como resultados subir la parte del ala 1. Mientras que en el otro lado ,en el alerón (A_2) que se encuentra hacia arriva, hace que la fuerza del viento ayude a bajar la parte del ala 2. Entonces en ambos lados de las alas las fuerzas actúan para que el avión haga un viraje a la derecha.
Así si cambiamos la posisión de los alerones el (A_1) hacia arriba y el (A_2) hacia abajo,se tiene como resultado que el avión hace su viraje a la izquierda.Fig.21

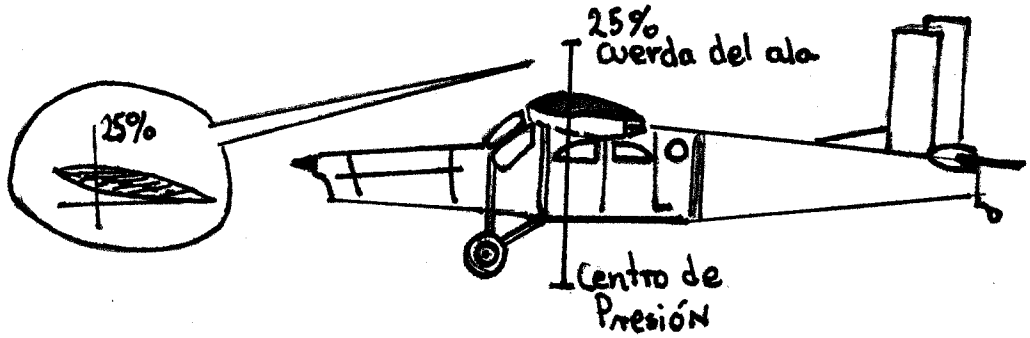


Es obio que para hacer estas maniobras en el aire ,debe existir en el avión un centro de presión.
Este centro de presión se encuentra en el ala. El centro de presión es la resultante de las fuerzas que actúan sobre el extrados e intrados.
El centro de presión se encuentra en la mayoría de los aviones en el 25% de la cueda del ala y en el 50% de la envergadura.

Estos centros de presión actuan en el avión como puntos de apoyo para realizar las anteriores maniobras.

El centro de presión tambien se llama Punto de apoyo aerodinámico, porque se genera un punto de apoyo con la acción del viento. Fig.22

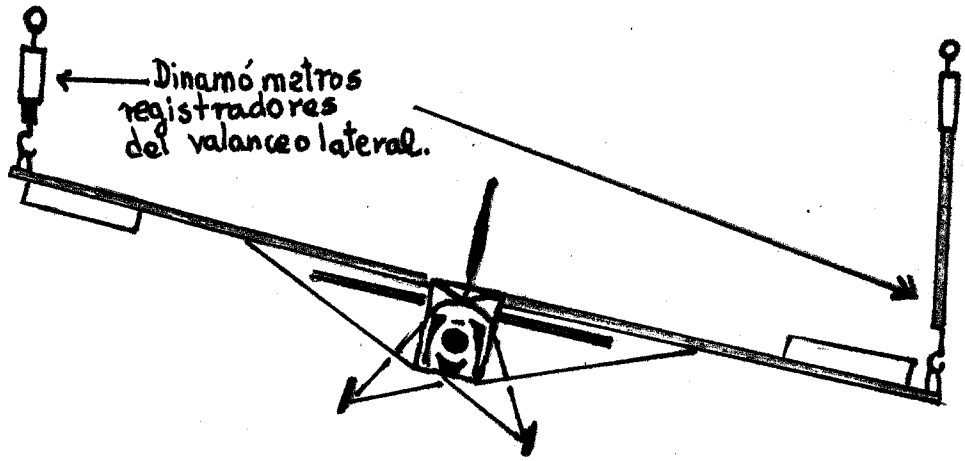




Experimento No 2 en este experimento se mostrará las maniobras del avión como anteriormente explicado.

Se tratará de mostrar al público las maniobras, que serán captadas por los dinamómetros en las partes de las alas.

Fig.23 donde nos muestra como serán notadas estas variaciónes.



Discución de resultados En cuanto a esta parte no se pueden hacer comparaciones con otros valores,ya que no existen en libros.
La única aclaración que se puede hacer es en la tabla de densidades en La Paz.
Asi pues la densidad del aire a nivel del mar es de 1,225 $\frac{Kg}{m}$ entonces como mos hallamos a más altura el valor de presión es el que modifica a este valor,siendo aqui unos 0,88 $\frac{Kg}{m}$.

Concluciones Todo este trabajo que realizamos fue con motivo primario,respondernos las preguntas que nos planteamos. Por suerte las podimos responder y resolver como queríamos (por médios científicos y experimentales).

Experiencias : Todos los resultados parecen ser ótimos, los teoremas.la teoría y las fórmulas se entendieron muy bien.El informe está con los máximos detalles.
Esta féria de ciencias fue un trabajo de investigación de muchos meses.
Se hubiera podido hacer el experimento mucho mejor,si el motor hubiera sido más potente.
Durante todo este lápso compartimos muy bien y para todo gastamos una buena suma de dinero . (38 Bs cada uno)
Muchas veces pensamos hacer cosas maravillosas,pero a medida que se investigaban más cosas,solían existir dificultades.
Nos reunimos muchas veces ,abeces se abansaba algo y otras veses no se avansaba nada.
Poco después las cosas empesáron a salir bien,nos dedicamos a construir el tunel,el avión y por último la hélice.
En este momento el experimento está semilisto,solo falta resolver algunos problemas.

Material utilizado : Se utilizó mucho material.
Para el avión se utilizó como material primario-
Madera balsa ,papel seda , alambre,resortes y pegamento especial.
Para el tunel aerodinámico se utilizó 23 metros o más de alambre de 4mm,nylon para forrarlo.
Para el ventilador se utilizó las aspas de madera balsa y su eje de plancha de hierro.
Para el tubo de Pitot,se tubo que comprar una varilla de tubo de 1cm de diámetro (que tenía que ser doblado en forma de "U") y otro tubo de estaño de diámetro mayor.

Artefactos hechos por el grupo : El grupo se caracteriza tal vez de tener todo su equipo o material hecho por siguo mismo,osea nósotros hicimos o mandamos a que nos agan

el diferente equipo.

Lo que construimos:

El avión de madera balsa

El movimiento de los alerones (ya que en el plano de aeromodelismo no existian los movimientos de los alerones y timones)

La hélice del ventilador (las aspas)

El tubo de pitot (la parte de vidrio)

Forrado del tubo aerodinámico.

Lo que hicimos construir:

El tunel aerodinámico

El centro y el eje del ventilador

El tubo grueso de estaño para el tubo de Pitot.

++ Talvez existen pequeños artefactos que hicimos pero no nos acordamos.

Aplicalidad : Tal vez mucha gente no le halla una aplicalidad en los aviones.
Pero nosotros hallamos la importancia de la aviación para muchos campos. Por ejemplo en la agricultura para el riego de grandes campos. En la geología para sacar fotos aereas y para los transportes.
El factor que nosotros nos preocupamos es que en Bolivia no existe mucha afición a este campo.(Eso se nota especialmente en el hobby de aeromodelismo,donde no está muy difundido.
Nosotros una vez pensamos de que se construyan aviones en Bolivia. Sería una buena realización que se construya por ejemplo un hidroavión para el Lago Titicaca,para los transportes comerciales.
O que se construyan aviones para el riego de campos agrícolas.
Todo esto lo pensamos ,porque nos dimos cuenta que en Bolivia no se ha construido ni ún solo avión.

Bibliografía: Se leyeron libros ,en algunos casos se sacó algunos esquemas y fórmulas .Se buscaron conceptos y leyes.

O.Hyde -"La aviación de hoy y de mañana"
Edición:La ciencia moderna
Editorial Sopena Páginas : del 13 al 31

A. Isidoro Carmona - "Aerodinámica y actuaciones del avión"
Sexta edición 1987
Editorial Paraninfo Páginas: del 17 al 75

Diccionario de ciencias y técnicas
Editorial Larousse
Por:Tomás de Galiana Mingot